



ГАЛІЛЕЙ ПРАВДА ПРО РУХ

Коли Альберт Ейнштейн розпочав писати мемуари, він згадав, як батько вперше показав йому компас. Хлопчик зі здивуванням дивився на стрілку, яка вперто показувала на північ. „Я досі пам’ятаю, як мене вразило це явище, – писав учений. – *Виявляється, за всім, що існує на світі, обов’язково приховане щось глибинне і потаємне!*”

Що далі – то складніше

Наука XXI століття – це справжня індустрія. Відкриття, про які час від часу пишуть у газетах (розшифрування геному людини, докази існування топ-кварка, відкриття нової планети на основі аналізу коливань далекої зірки), обходяться у мільйони доларів. Над ними працюють групи вчених, які за розмірами не поступаються величезним корпораціям. Вони породжують терабайти¹ інформації та потребують для аналізу суперкомп’ютерів, які випромінюють теплову енергію й охолоджуються установками, що споживають стільки ж енергії, як невелике місто.

¹Байт (*byte*) – одиниця виміру обсягу даних. Найменша адресована одиниця пам’яті ЕОМ. Містить 8 бітів. Терабайт – (Тбайт, Тб) – кратна одиниця виміру кількості інформації, що дорівнює ($2^{40} = 1\,099\,511\,627\,776$) стандартним (8-бітним) байтам або 1 024 гігабайтам. Назва „Терабайт” широко вживана, але не правильна, бо приставка тера-, означає множення на 10^{12} . Для 2^{40} є двійкова приставка тебі-.



Краса експериментальна

Донедавна знамениті експерименти, які суттєво розширювали межі пізнання, були під силу вченим-одинакам, які проводили їх на лабораторному столі. Розрахунки, якщо в них була потреба, займали аркуш паперу. Це були справді красиві експерименти, які поглибили наші знання про природу. Використовуючи підручні засоби, дослідники умудрялися поставити запитання Всесвіту і не заспокоювалися,



Фалес

доки не отримували на нього відповідь. Навіть прилади, якими вони користувалися, були красивими – поліроване дерево, бронза, сяючий чорний ебоніт. Але найважливіше – це краса самого експерименту та людської думки.

З кого розпочати?

Можливо, з Фалеса, який натирив янтар, щоб отримати електрику? Ні, це занадто просто і недостатньо вражаюче. До того ж Фалес не намагався зрозуміти, які матеріали і за яких умов електризуються. Згодом Уільям Гілберт довів, що ця властивість янтарю не є унікальною. Ні, експериментальна наука розпочалася не з Фалеса.

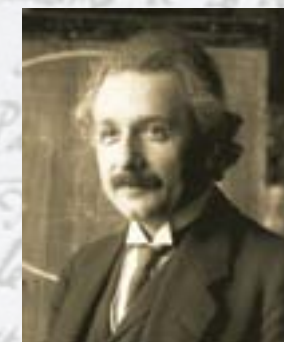
Можливо, з Піфагора, який з’ясував, що звучання струни підлягає строгим математичним законам? Якщо струна звучить як нота до, то три чверті струни звучатимуть як фа, а дві третини – як соль. Половина цієї струни теж звучатиме як до, але вищої октави. Все на світі можна описати числами – зробив висновок Піфагор. І ось тут би йому зупинитись у своїх міркуваннях, але він заявив, що вогонь складається з 24 прямокутних трикутників, а вода – із 120-ти. Містика витіснила експеримент.



Піфагор

Із Давньої Греції перенесемось у XVII століття, до Галілео Галілея, який сформулював фундаментальний закон руху. Саме звідси ми рухатимемося далі, зупиняючись на славному шляху науки.

Можливо, з Альберта Ейнштейна, який розкрив теорію відносності? Ні, це занадто просто і недостатньо вражаюче. До того ж Ейнштейн не намагався зрозуміти, які матеріали і за яких умов електризуються. Згодом Уільям Гілберт довів, що ця властивість янтарю не є унікальною. Ні, експериментальна наука розпочалася не з Фалеса.



Альберт Ейнштейн



Уільям Гілберт



Перехитрити швидкість

У IV столітті до н. е. Аристотель уперше спробував сформулювати закони руху. Він вважав: що важчий камінь, то швидше він досягає поверхні землі. Для усіх інших рухів необхідно постійно прикладати силу, причому, що більша сила, то швидше рухається тіло. Якщо тіло не штовхати (або не тягти), воно відразу зупиняється. На перший погляд – все логічно, але насправді ці висновки хибні.



Модель жолоба Галілея у музеї захоплюючої науки школи № 1060 (м. Москва)

Коли Аристотеля запитали, чому стріла летить після того, як на неї перестала діяти тягива, він відповів, що стрілу підштовхує повітря. Сьогодні ми знаємо: тіло рухається, доки на його шляху не трапиться перешкода, або доки його не зупинить сила тертя. Галілей довів: якщо з однакової висоти кинути п'ятикілограмову і кі-

лограмову гирі, то вони впадуть на землю одночасно.

Установка Галілея не збереглась, але знайдені доволі детальні описи експериментів і креслення похилого жолобу. Учні московської школи № 1060 відтворили для шкільного музею науки модель похилого жолобу Галілея. Основна ідея конструкції – зробити жолоб на зразок коромисла терезів, щоб у ході експерименту можна було легко змінювати його нахил.

Історики не схильні розділяти популярну думку про те, що Галілей кидав гирі з „падаючої” Пізанської вежі. Але як він встановив закони руху тіл, що падають, не маючи стробоскопічних фотографій, сучасних електронних датчиків для хронометражу падаючого тіла? Він придумав геніальний спосіб – „сповільнити” тіло, що падає! Галілей вивчав рух кульки, яка скочувалася вздовж гладкого жолоба. Те, що справедливо для руху при малому нахилі, буде справджуватись і при великому, і при найбільшому, тобто при вільному падінні.

Як виміряти час водою

Рух кульки вздовж жолоба – прискорений, тобто швидкість її зростає. Щоб зрозуміти, за яким саме законом відбувається рух, Галілео вимірював час руху кульки. Він провів понад 100 експериментів, змінюючи кут нахилу



жолоба декілька разів, щоб виміряти час із точністю, „не гіршою, ніж одна десята сердечного ритму*”. Для вимірювання часу вчений використовував водяний годинник.

Галілей намагався встановити відношення відстаней, пройдених кулькою за послідовні однакові проміжки часу. На вершині похилої площини встановлювалася посудина з водою. До дна посудини була припаяна тоненька трубка, по якій текла вода. Впродовж кожного спуску (зі всього жолоба або з його частини) воду збирали у скляний глечик і ретельно зважували на точних терезах, бо маса води пропорційна до пройденого шляху і часу руху кульки.



Ілюстрація до книги „Бесіди і математичні докази, які стосуються двох нових галузей науки”

Дослід під музику

Стілман Дрейк, визнаний у світі знавець наукового спадку Галілея, вважає, що метод Галілея був набагато досконалішим і дивовижнішим. Галілею не обов'язково було вимірювати час у секундах, півсекундах або навіть у „водяних” одиницях. Треба було лише поділити час на рівні проміжки, а це – талант, властивий кожному хорошому музикантові.



Диригент оркестру, махаючи паличкою, відміряє проміжки часу з досить великою точністю впродовж тривалого періоду, не думаючи ані про секунди, ані про інші одиниці виміру часу. Він задає певну періодичність, відчуваючи ритм, легко ділить інтервали навпіл з точністю, якій може позаздрити механічний інструмент. Якщо ударний інструмент вступає в оркестрі з

*Г. Галілей. „Бесіди і математичні докази, які стосуються двох нових галузей науки”. Написані у формі розмови трьох знатних італійських громадян, які намагалися зрозуміти, як влаштований світ.





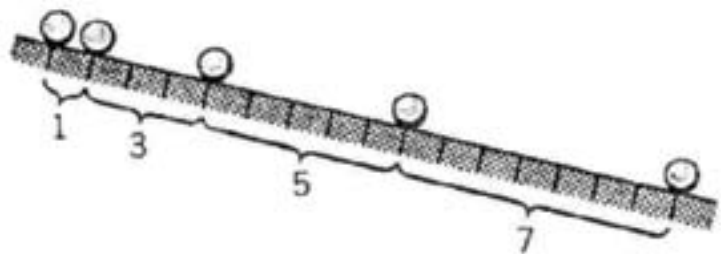
запізненням усього лише на деяку частку секунди, наприклад, на 1/64 музикального такту, це помітить не лише диригент, але й слухачі.

На думку Дрейка, Галілей вчинив так. Перш ніж пустити кульку вздовж похилої площини, він задав ритм, виконуючи просту мелодію з темпом, наприклад, два удари на секунду. Відпустивши

кульку, він крейдою відмічав її положення при кожному ударі. На кожній відмітці дослідник кріпив кусок струни (Дрейк використав з цією метою гумову стрічку), щось на зразок пересувних ладів на лютні – улюбленому інструменті Галілея. Щоразу відпускаючи кульку, Дрейк прислухався до ударів по струнах, і змінював положення струн так, щоб ритм ударів співпадав із ритмом вибраної мелодії. Коли все вийшло в лад, положення струн точно вказувало, які відстані пододала кулька за відповідні однакові проміжки часу. Залишалось лише виміряти їх за допомогою звичайної лінійки.

Ключ до загадки руху

Виявилось, що відстані, пройдені кулькою за послідовні однакові проміжки часу (наприклад, за першу, другу, третю і т. д. секунди), відносяться як 1:3:5:7:9 і т. д. Тобто відстань, пройдена кулькою за другу секунду, втричі, а за третю – у п'ятеро більша, ніж за першу.



Суми послідовних чисел цього ряду утворюють квадрати:

- $1=1^2$;
- $1+3=4=2^2$ – за дві секунди;
- $1+3+5=9=3^2$ – за три секунди;
- $1+3+5+7=16=4^2$ – за чотири секунди.



А це означає, що відстані, пройдені кулькою за одну, дві, три, чотири і т. д. секунди від початку руху відносяться як $1^2:2^2:3^2:4^2$ і т. д.

Яким би шляхом не дійшов Галілей до цього висновку, результатом його досліджень є відкриття нового фундаментального закону руху. Що крутіша похила площина, то швидше рухатиметься кулька, але її рух буде підлягати тому ж самому закону. Очевидно, закон виконується і тоді, коли кут нахилу досягне 90° , тобто кулька падатиме вниз по прямій. В іншому граничному випадку, коли кут нахилу рівний нулю (горизонтальна поверхня), прискорення руху не буде. Кулька, яка скотилася вздовж жолоба і досягла поверхні столу, рухатиметься рівномірно безконечно довго, якщо уявити, що поверхня столу безмежна, а тертя відсутнє.



Палець Галілея

Минуло понад 350 років від дня смерті Галілея. Відвідувачі Музею історії науки у Флоренції оглядаючи експозицію, з замиранням серця дивляться на висохлий палець, який щоразу піднімав кульку після того, як вона скочувалась із похилої площини. Три пальці, зуб, п'ятий поперековий хребець Галілея зберіг його прихильник, коли тіло великого італійця через 100 років після захоронення було ексгумоване і перенесене на почесне місце. Тонкий довгий палець, який потомки зберігають у раку, наче мощі святого, вказує вгору, наче манить до себе небо...



Гробниця Галілео Галілея. Базиліка Санта Кроче, Флоренція

За мотивами книги Джорджа Джонсона „Десять найкрасивіших експериментів“.